Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 33, No. 1, Spring 2019, p. 55-74

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۷۴-۵۵

انتقال مجازی آب از طریق تجارت بین استانی غلات در ایران

نیلوفر اشک تراب[1*]- منصور زیبایی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

آب در ایران یک منبع کمیاب می‌باشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی سریع به همراه رشد جمعیت منجر به افزایش فشار برمنابع آب در کشور شده است. مطالعه حاضر به اندازه‌گیری مجموع ردپای آب گندم، جو و ذرت دانه‌ای در استان‌های کشور در سال ۱۳۹۵ پرداخته‌است. میزان مازاد عرضه و تقاضای محصولات مذکور در سطح هر استان محاسبه و با استفاده از ردپای آب هر محصول در هر استان، شبکه تجارت آب مجازی غلات در سطح کشور بدست آمده است. به منظور شناسایی مقاصد هر استان صادرکننده و حداقل کردن هزینه حمل و نقل از مدل حمل و نقل استفاده شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استان تهران بزرگ‌ترین واردکننده غلات در کشور بوده که حجم بالایی از واردات آن از استان‌های کرمانشاه، مرکزی و همدان صورت می‌گیرد. استان‌های گلستان و کرمانشاه به ترتیب بزرگترین صادرکننده گندم و جو بوده‌اند که عمده صادرات استان گلستان به استان‌های خراسان و سیستان و بلوچستان بر اساس مدل حمل و نقل می‌باشد. استان کرمانشاه، بیشترین صادرات محصول جو را به استان‌های آذربایجان‌غربی، تهران، زنجان و کردستان انجام می‌دهد که نشان دهنده بیشترین میزان انتقال آب مجازی از طریق صادرات محصول جو می‌باشد به استان‌های مذکور می‌باشد. در سال ۱۳۹۵، ۵/۶ میلیون تن ذرت دانه‌ای به کشور وارد شده که مازاد تقاضای تمام استان‌های کشور را پوشش داده و منجر به ورود آب مجازی به کشور شده است.

واژه‌های کلیدی: استان، جو، ذرت دانه‌ای، ردپای آب، شبکه تجارت آب مجازی، گندم، مدل حمل و نقل
طبقه‌بندی JEL: F18، Q13، Q25، Q56، R42

مقدمه

رشد و توسعه اقتصادی مستلزم افزایش کمی و مداوم تولید و درآمد سرانه، از طریق افزایش مصرف عوامل تولید مانند نیروی انسانی، سرمایه و منابع طبیعی است. تحقق چنین رشدی نیازمند بکارگیری منابع طبیعی با چنان شدتی است که قدرت ترمیم را از منابع تجدیدپذیر سلب کرده و افزون بر آن، منجر به نادیده گرفتن حقوق نسل‌های آینده نسبت به منابع تجدیدناپذیر می‌شود. آب به عنوان یک منبع طبیعی، نقش مهمی در تأمین غذای جمعیت رو به رشد دارد. مصرف آب به ویژه در کشورهای در حال توسعه در بخش‌های کشاورزی و صنعت، بیش از سطوح پایدار می‌باشد و این امر توسعه پایدار در این کشورها را با مشکل مواجه ساخته است (۳۲). در این راستا، منابع آب که برای حیات بشر، معیشت پایدار و حفظ زیست‌بوم‌ها ضروری است تحت فشار واقع شده است. در حالیکه مناطق خاصی از دنیا دارای آب فراوان هستند مناطق دیگر از کمیابی آب رنج می برند. ایران یکی از مناطقی است که با محدودیت شدید منابع آب روبرو است. سرانه مصرف آب در ایران در سال ۱۹۶۲، ۵۵۷۰ متر مکعب در سال بوده‌است که با یک روند بسیار نزولی به ۱۸۷۶ متر مکعب در سال ۲۰۰۸ و به ۱۶۴۴ متر مکعب در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته که در مقایسه با میانگین جهانی به میزان ۶۲۲۵ متر مکعب، بسیار پایین است (۳ و ۳۳). وضعیت موجود منابع آب در ایران و روند و گرایشات حاکم بر آن به خوبی ضرورت مدیریت تقاضا و تعدیل مصرف آب را نشان می‌دهد.

بنابراین لزوم توجه به مدیریت منابع آب در دهه‌های اخیر مورد تاکید قرار گرفته است، یکی از مفاهیم جدید در مدیریت آب، ردپای آب و آب مجازی است. آب مجازی و ردپای آب معمولاً بصورت مترادف بکار گرفته می‌شوند در حالی‌که دارای تفاوت‌های قابل توجهی می‌باشند. اگر هدف از محاسبه ردپای آب، تنها محاسبه آب بکار گرفته شده برای تولید محصول باشد، می‌توان از محتوی آب

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: nilo.ashktorab@gmail.com)
DOI: 10.22067/jead2.v0i0.76365

مجازی یک محصول به جای ردپای آب صحبت کرد. اما مفهوم ردپای آب کاربرد گسترده‌ای دارد. به عنوان مثال می‌توان ردپای یک مصرف‌کننده را با اندازه‌گیری ردپای آب کالاها و خدماتی که مصرف می‌کند، اندازه‌گیری کرد و یا در مورد ردپای یک تولیدکننده با نگاهی دقیق به ردپای کالاها و خدماتی که توسط او تولید می‌شود، صحبت کرد. علاوه بر این، مفهوم ردپای آب، مانند اصطلاح محتوی آب مجازی، تنها به حجم آب اشاره ندارد. در حقیقت ردپای آب یک شاخص چند بعدی است که نه تنها به حجم آب مورد استفاده توجه دارد که همچنین بر نوع آب مصرفی (تبخیر آب باران، آب سطحی و یا زیرزمینی و آلودگی آب) و محل و زمان مصرف آن در فرایند تولید، تاکید دارد (۸). در مورد محصولات حاوی آب مجازی، تجارت، وسیله انتقال منابع آب بین مناطق است. علاوه بر این، تجارت مواد غذایی داخلی و بین‌المللی می‌تواند موجب صرفه‌جویی در آب در مقیاس ملی بوسیله‌ی تشویق مبادلات آب مجازی از کشورها یا استان‌های با بهره‌وری تولید بالاتر به مناطق با بهره‌وری کمتر تولید شود و همچنین منجر به کاهش مصرف آب در تولید هر واحد محصول گردد (۶).

اهمیت تجارت آب مجازی موجب شده تا مطالعات زیادی در این زمینه انجام شود، در برخی از این مطالعات، ضمن محاسبه محتوای آب مجازی محصولات مختلف، وضعیت صادرات و واردات آب مجازی کشورها و میزان تطابق آن با کمبود منابع آب بررسی شده است. در برخی از مطالعات نیز روند مبادلات آب مجازی در داخل کشورهایی نظیر اسپانیا، استرالیا و چین بررسی شده است (۲۳،۳۴،۲۵،۱۱،۱۳،۱۴،۱۹،۲۴،۷،۳۱). مطالعات متعددی در سطح ملی در ارتباط با وضعیت آب مجازی در کشور انجام شده است. کیانی(۱۳۹۷) به بررسی وضعیت تجارت داخلی و بین المللی آب مجازی در سال ۱۳۸۵، با محاسبه ردپای آب داخلی و خارجی محصولات کشاورزی پرداخت. نتایج محاسبات تحقیق نشان داد که در این سال، حدود ۱۹ میلیارد مترمکعب آب مجازی از طریق مبادله محصولات کشاورزی بین استان‌های کشور جابه جا شده است. استان فارس بزرگترین صادر کننده و استان تهران بزرگترین واردکننده آب مجازی بوده‌اند. بابازاده و سرائی‌تبریزی (۱۳۹۱) با استفاده از مفهوم آب مجازی و اتکا بر داده‌های تولید محصولات و مصارف آبی بخش کشاورزی، منابع آبی استان هرمزگان مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که کل واردات و صادرات آب مجازی هرمزگان به ترتیب ۱۲۸۴/۳ و ۱۱۳۱/۱ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. سهم بخش زراعی، باغی و دامی از واردات آب مجازی به ترتیب ۶۱/۴۴ درصد، ۹/۹۷ درصد و ۲۸/۵۹ و همچنین از صادرات آب مجازی به ترتیب ۳۵/۳۲ درصد، ۵۹/۱۸ درصد و ۵/۵ درصد محاسبه شده است. مطالعه جعفری و زارعی (۱۳۸۶) و مطالعه باغستانی و همکاران (۱۳۸۹) وضعیت صادرات و واردات آب مجازی کشور را برای سال های۱۳۷۵-۱۳۸۳ و ۱۳۷۵-۱۳۸۵ مورد بررسی قرار داده‌اند. جعفری و زارعی دریافتند که در طول دوره یاد شده، مقدار صادرات کل ۱۵محصول عمده کشاورزی کشور حدود ۱۱/۸ میلیون تن و همچنین مقدار واردات ۹ محصول کشاورزی عمده وارداتی ۱۸/۵ میلیون تن بوده است. بر این اساس، کل آب مجازی صادر شده در این دوره ۳۳/۸ میلیارد متر مکعب و کل آب مجازی وارد شده ۴۶/۱ میلیارد متر مکعب بوده است. همچنین متوسط آب مجازی به ازای هر تن کالای صادر شده و وارد شده به ترتیب ۲۸۶۹ و ۸۳۹۳ متر مکعب بوده است و همچنین در مطالعه باغستانی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داده شد که ایران در طی این سال‌ها همواره واردکننده خالص آب مجازی بوده است. نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که محصولات عمده صادراتی به‌طور متوسط تقاضای ویژه آب بیشتری در مقایسه با محصولات وارداتی کشاورزی داشته‌اند. بررسی مطالعات صورت گرفته در ایران، نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای در سطح کشور انجام نشده است که با استفاده از داده‌های هواشناسی ماهانه به محاسبه ردپای آب غلات در سطح تمام دشت‌های استان‌های مختلف کشور بپردازد و با استفاده از ردپای آب محاسبه شده، شبکه تجارت آب مجازی غلات در بین استان‌های کشور و همچنین مقاصد صادراتی داخلی را تعیین نماید.

اهمیت کاهش هزینه حمل و نقل بر ایجاد مزیت نسبی در تولید محصولات کشاورزی در استان‌ها موجب شده است که مطالعات متعددی به بررسی الگوی حمل و نقل محصولات کشاورزی در داخل کشور بپردازند. قزلی جهرمی و همکاران (۱۳۸۷) الگویی حاوی حداقل هزینه در شبکه انتقال قند و شکر از مراکز تولید تا مراکز تصفیه و نگهداری و نهایتاً توزیع در سطح استان فارس با استفاده از آمار سال ۱۳۸۵ ارائه دادند. آن‌ها دریافتند که در الگوی بهینه، هزینه تولید در حدود ۲۳ درصد کاهش می‌یابد که این امر با تغییر مسیرهای انتقال به خصوص از مراکز تولید مرودشت، اقلید و ممسنی، ممکن شده است. کیانی (۱۳۸۰) به منظور بهینه سازی حمل و نقل گندم الگوی بهینه‌ای را ارائه داد که هزینه حمل و نقل را ۱۳/۵ درصد کاهش می دهد. بر اساس مرور مطالعات صورت گرفته می‌توان گفت هزینه‌های حمل و نقل از اجزای مهم در تصمیم‌گیری در خصوص محل استقرار فعالیت‌ها است و شرایط فعالیت‌های اقتصادی را تحت تاثیر قرار می دهد، به بیان دیگر هزینه‌های حمل و نقل می‌توانند از عوامل اصلی ایجاد و یا حذف مزیت نسبی در تولید یک کالا تلقی شود. بنابراین با توجه به میزان انتقال محصولات بین استان‌های کشور و در حقیقت میزان انتقال آب می‌توان به مدیریت صحیح انتقال آب بر اساس مزیت نسبی استان‌ها رسید.

تجزیه و تحلیل شبکه تجارت آب مجازی بین استان‌های کشور، سهم بزرگی از تجارت داخلی را در برمی‌گیرد و دیدگاه منطقی و دقیقی را برای ارائه استراتژی‌های ملی به منظور بهینه‌سازی کارایی

آب[1] در تولیدات کشاورزی فراهم می‌آورد (۹). نیاز کشور برای استفاده از آب مجازی در سیاست‌های ملی به دلیل افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است و در این راستا تجزیه و تحلیل تجارت آب مجازی در داخل کشور می‌تواند به بهبود سیاست گذاری‌های پیش‌رو کمک نماید. تجارت آب مجازی بین استانی ایران یک شبکه وزنی است که در آن جهت مبادلات مشخص (از صادرکننده به واردکننده) و حجم آب مجازی مبادله شده بین استان‌ها وزن‌های شبکه را تشکیل می‌دهند. در مطالعه‌ی حاضر، به منظور تهیه شبکه تجارت آب مجازی بین استانی کشور، ردپای آب محصولات گندم، جو و ذرت‌دانه‌ای همچنین میزان مازاد عرضه و تقاضای محصولات منتخب با استفاده از آمار سال ۱۳۹۵ در هر استان محاسبه و شبکه تجارت آب مجازی هر محصول در استان‌های کشور به تفکیک بدست آمده است. سپس با استفاده از مدل حمل و نقل مشخص شده است که استان‌های صادرکننده به کدام استان و به چه میزان صادرات محصولات مختلف را باید انجام دهند تا هزینه حمل و نقل کمینه شود.

مواد و روش‌ها

جهت مشخص کردن مازاد عرضه و تقاضای هر استان از محصولات منتخب، ابتدا به محاسبه ردپای آب هر محصول به تفکیک استان، با استفاده از اطلاعات سال ۱۳۹۵، پرداخته، سپس شبکه تجارت آب مجازی هر محصول شناسایی و با استفاده از مدل حمل و نقل مسیر صادرات محصولات تعیین می‌شود.

محاسبه مجموع ردپای آب محصولات کشاورزی

ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید برای محصولات مورد مطالعه در گستره استان‌های کشور با بکارگیری چارچوب پیشنهادی هوکسترا و چاپاگین (۲۰۰۸) و هوکسترا و همکاران (۲۰۰۹) که بوسیله آبابایی و اعتدالی (۲۰۱۴) توسعه یافته است، برآورد شد.. ردپای آب سبز، بخشی از کل جریان تبخیری که برای اهداف انسان، اختصاص یافته و ردپای آب آبی، حجم آب‌های زیرزمینی و سطحی مصرف شده برای نیازهای انسان را نشان می‌دهند. بدین منظور، ابتدا حجم مصرف آب (CWU) آبی و سبز از روابط زیر محاسبه گردید:

$$CWU_{blue,\,Irr} = IR = 10 \times IE \times GI \quad (۱)$$

$$CWU_{green,\,Irr} = 10 \times P_{eff} = 10 \times (ET_C - IR) \quad (۲)$$

$$CWU_{blue,\,RF} = 0 \quad (۳)$$

$$CWU_{green,\,RF} = 10 \times P_{eff} \quad (۴)$$

در روابط بالا، نیاز ناخالص آبیاری (GI برحسب میلی متر) و راندمان متوسط آبیاری (IE) در منطقه با استفاده از نرم افزار AGWAT[2] بدست آمد. نیاز خالص آبیاری (IR بر حسب میلی متر) از حاصلضرب نیاز ناخالص آبیاری در راندمان متوسط آبیاری برحسب میلی متر محاسبه می‌شود. P_{eff} بارندگی موثر را نشان می‌دهد. در این روابط Irr و RF به ترتیب نشان دهنده شرایط فاریاب و دیم و ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از میلی‌متربه مترمکعب بر هکتار می‌باشند. ردپای آب سبز و آب آبی، بر حسب مترمکعب بر تن، از تقسیم آب مصرفی سبز و آبی بر مقدار محصول تولیدی محاسبه شد. از آنجایی که مقدار تولید محصول در شرایط ردپای فاریاب و دیم متفاوت می باشند، محاسبه اجزا ردپای آب با استفاده عملکرد محصول در شرایط فاریاب و دیم بصورت جداگانه صورت گرفت.

یکی دیگر از اجزای ردپای آب در تولید محصولات مختلف، حجم آب مورد نیاز برای رقیق سازی کودهای کشاورزی هدررفته (با استفاده از رواناب یا نفوذ عمقی) است. در این پژوهش به پیروی از اغلب مطالعات، ردپای آب خاکستری تنها برای کودهای نیتروژن به عنوان مهمترین منبع آلودگی اراضی کشاورزی در ایران محاسبه شد. ردپای آب خاکستری در تولید محصولات مختلف از روابط زیر محاسبه شد:

$$WF_{gray,\,Irr} = \frac{\alpha_{Irr} \times NAR_{Irr}}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y_{Irr}} \quad (۵)$$

$$WF_{gray,\,RF} = \frac{\alpha_{RF} \times NAR_{RF}}{C_{Max} - C_{Nat}} \times \frac{1}{Y_{RF}} \quad (۶)$$

α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR (کیلوگرم بر هکتار) نرخ مصرف کود، C_{Max} (متر مکعب بر هکتار) غلظت بحرانی نیتروژن، C_{Nat} (کیلوگرم بر متر مکعب) غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده و Y عملکرد (تن بر هکتار) را نشان می‌دهد. مقادیر α در شرایط فاریاب و دیم بترتیب پنج و ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است (۶). غلظت بحرانی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده نیز بر اساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ میلی گرم بر لیتر منظور شد. ازآنجا که اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده در دست نیست، این مقدار برابر صفر (فرض معمول) در نظر گرفته شد (۶). ردپای آب سفید نیز بر اساس روش پیشنهادی آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱۴) با استفاده از روابط زیر، برآورد شد:

$$WF_{white,\,Irr} = \max\left(0, \frac{10 \times (GI - IR)}{Y_{Irr}} - WF_{gray,Irr}\right) \quad (۷)$$

$$WF_{white,\,RF} = 0 \quad (۸)$$

پس از محاسبه اجزا ردپای آب برای دشت‌های مختلف، میانگین آن‌ها برای هر استان بدست آمده و سپس اجزای ردپای آب بدست

1- Optimize water efficiency

۲- بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی، دکتر امین علیزاده، استاد گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

آمده در هر دو کشت آبی و دیم برای هر محصول با یکدیگر جمع بسته شده‌است (WTF_{ij}).

محاسبه میزان صادرات و یا واردات آب مجازی

در این قسمت از مطالعه‌ی حاضر، به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات و آمار میزان صادرات و واردات بین استان‌های کشور، در ابتدا مصرف سرانه هر ایرانی برای هر محصول به روش زیر بدست می‌آید.

$$PC_i = ((TP_i + M_i) - X_i) / POP \qquad (۹)$$

در معادله (۹)، PC_i نشان دهنده‌ی مصرف‌سرانه هر محصول، TP_i بیانگر تولیدات کل کشور هر محصول، M_i و X_i هر کدام به ترتیب نشان دهنده میزان واردات و صادرات محصول مورد نظر و POP جمعیت کشور را نشان می‌دهد.

پس از محاسبه مصرف سرانه هر ایرانی از هر محصول، مصرف کل هر استان به روش زیر محاسبه می‌شود.

$$TCP_{ij} = PC_i \times POP_j \qquad (۱۰)$$

در معادله (۱۰)، TCP_{ij} مصرف کل هر استان و POP_j جمعیت هر استان را نشان می‌دهد. i و j به ترتیب نشان دهنده محصولات و استان‌های کشور می‌باشند.

به منظور محاسبه مازاد تقاضا و یا عرضه هر استان، تولید کل هر استان از مصرف کل هر استان (TCP_{ij}) کسر و در نتیجه وضعیت مازاد هر استان در محصولات منتخب مشخص می‌شود. در نهایت، تجارت آب مجازی (VWT_{ij}) هر محصول در هر استان به صورت زیر بدست می‌آید.

$$VWT_{ij} = EX_{ij} \times WTF_{ij} \qquad (۱۱)$$

در معادله (۱۱)، EX_{ij} مازاد عرضه و یا تقاضای محصولات مختلف در هر استان و WTF_{ij} مجموع ردپای آب محصولات در استان‌های کشور را نشان می‌دهد که در مرحله قبل محاسبه شده است.

مدل حمل و نقل

هدف از این مطالعه، ارائه الگوی حداقل هزینه در شبکه انتقال آب مجازی از مراکز تولید تا مراکز مصرف می باشد. مساله شبکه انتقال آب مجازی را می‌توان با استفاده از الگوی حمل و نقل برنامه ریزی خطی الگوسازی نمود.

X_{ij} نشانگر مقدار محصول مبادله شده بین مرکز عرضه و تقاضای محصولات منتخب، i مرکز تولید و j مرکز تقاضا (مصرف) می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان مدل را به صورت زیر فرمول‌بندی کرد:

Minimize

$$Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \geq d_j \qquad (۱)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \leq s_i \qquad (۲)$$

$$\sum_i s_i = \sum_j d_j \qquad (۳)$$

$$X_{ij} \geq 0 \qquad (۴)$$

در روابط بالا، C_{ij} هزینه حمل هر واحد کالا از فاصله بین مراکز i و j می‌باشد که از ضرب میانگین کرایه حمل و نقل استان صادرکننده در فاصله‌ی میان مراکز استان‌های صادرکننده و واردکننده بدست آمده است. s_i و d_j به ترتیب بیانگر مازاد تقاضای محصول مورد نظر و مازاد عرضه محصول مورد نظر در استان‌های کشور می‌باشند.

در مدل حمل و نقل استفاده‌شده در این مطالعه، هدف، حداقل کردن هزینه حمل و نقل کل میان تمامی مراکز تولید محصولات کشاورزی منتخب و مراکز مصرف محصولات مذکور است و فرض می‌شود که این هزینه ها تابعی خطی از فاصله میان نقاط تولید یا مصرف و هزینه حمل هر واحد از فاصله است.

محدودیت (۱) بیانگر آن است که میزان محصول مبادله شده در هر واحد بیشتر یا مساوی محصول مورد تقاضا استان می‌باشد. محدودیت (۲) تضمین می‌کند تا میزان محصول عرضه شده میان دو مرکز کمتر یا برابر با ظرفیت مرکز باشد. در محدودیت (۳) تقاضا کل برای محصولات را برابر با مجموع محصول مبادله شده در نظر گرفته شده‌است. محدودیت (۴) شرط مثبت بودن مقادیر مبادله شده میان مراکز عرضه و تقاضا را تأمین می‌کند.

داده‌های مورد استفاده

در مرحله اول، به منظور محاسبه نیاز ناخالص آبیاری، آمار مربوط به دما، درجه حرارت، تابش خورشید و غیره هر استان به صورت ماهانه از سازمان هواشناسی کشور جمع آوری و آمار تولید و عملکرد محصولات مختلف از آمارنامه محصولات کشاورزی سال (۹۵-۱۳۹۴) بدست آمده است. نیاز خالص آبیاری، پس از ورود اطلاعات به نرم افزار AGWAT محاسبه و از نرم افزار EXCEL به منظور محاسبه اجزای ردپای آب محصولات مختلف استفاده شده است. در مرحله دوم، آمار مربوط به جمعیت کشور در سال ۱۳۹۵، از مرکز آمار ایران و آمار مربوط به تولید آبی و دیم هر استان از آمارنامه محصولات کشاورزی سال (۹۵-۱۳۹۴) بدست آمد. همچنین داده‌های مربوط به صادرات و واردات هر محصول از/به کشور از سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد[1] (FAO) برای سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری شد. در

1- Food and Agriculture Organization of United Nation

مرحله سوم، آمار مربوط به فاصله‌ی مراکز استان‌ها و نرخ کرایه حمل بار هر استان از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای بدست آمد. سپس با استفاده از نرم افزار GAMS، مدل حمل و نقل برای هر محصول به تفکیک برآورد شد.

نتایج و بحث

ردپای آب محصولات منتخب در استان‌های کشور

بمنظور محاسبه ردپای آب محصولات منتخب در استان‌های کشور، نیاز ناخالص آبیاری و تبخیر و تعرق با استفاده از نرم افزار AGWAT محاسبه شده است، بدین منظور داده‌های هواشناسی تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استان‌های کشور نظیر دمای هوا، رطوبت، ساعت تابش خورشید و غیره از سازمان هواشناسی هر استان به تفکیک جمع‌آوری و به عنوان داده‌های اولیه وارد نرم افزار AGWAT شده و با تعیین تاریخ کشت هر محصول در هر دشت و همچنین تعیین روش آبیاری هر محصول نیاز ناخالص آبیاری و تبخیر و تعرق هر محصول در هر دشت بدست آمده است. سپس با استفاده از اطلاعات بدست آمده، نیاز خالص آبیاری با در نظر گرفتن راندمان ۴۰ درصدی آبیاری (۲) محصولات و بارندگی موثر پس از میانگین گیری از تمامی دشت‌های هر استان، در نرم افزار Excel محاسبه شده است. سپس با استفاده از معادلات (۱) تا (۸) اجزای ردپای آب برای محصولات منتخب به تفکیک هر استان در شرایط دیم و آبی محاسبه شده و از مجموع ردپاهای آب محاسبه شده (جدول ۱)، در شبکه تجارت آب مجازی استفاده شده است.

با توجه به اهمیت حسابداری ردپای آب در فراهم کردن اطلاعات لازم برای مدیریت کارآمد منابع آب، مجموع ردپای آب محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای در جدول ۱ نشان داده شده‌است. نتایج موجود در جدول ۱ ردپای آب محصولات گندم و جو در دو کشت آبی و دیم و ذرت دانه‌ای است، می‌توان گفت که استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، اردبیل، آذربایجان‌غربی، گلستان، ایلام و مازندران ردپای آب کمتری در کشت گندم آبی داشته‌اند. همچنین استان‌های هرمزگان، کرمان، سیستان و بلوچستان، بوشهر و سمنان بیشترین ردپای آب در کشت گندم آبی در کشور را دارند.

استان‌های مازندران، گیلان و گلستان کمترین و استان‌های هرمزگان، خراسان و یزد بیشترین ردپای آب در کشت آبی جو را داشته‌اند. در تولید ذرت دانه‌ای، استان‌های لرستان، گیلان و مازندران کمترین ردپای آب در سطح کشور را به خود اختصاص داده‌اند که با توجه به شرایط آب و هوایی این استان‌ها و همچنین شرایط کشت ذرت دانه‌ای، این امر قابل توجیه است.

مصرف سرانه غلات در کشور

به منظور محاسبه مازاد تقاضا و عرضه محصولات منتخب، در ابتدا مصرف سرانه هر ایرانی از این محصولات با استفاده از فرمول (۱) و آمار سال ۱۳۹۵ محاسبه شده که نتایج به دست‌آمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، مصرف سرانه هر ایرانی از محصول گندم به عنوان یک محصول استراتژیک به میزان ۲۰۵کیلوگرم بوده که سهم بیشتری نسبت به سایر محصولات داشته‌است. این امر به دلیل این است که مصرف غلات و نان در بین مردم ایران ۴۰ درصد بیشتر از سایر نقاط دنیاست و همچنان ماده غذایی اصلی مردم ایران را تشکیل می‌دهند (۲۹). ذرت دانه‌ای و جو به‌ترتیب در رتبه‌های بعد قرار گرفته‌اند.

جدول ۱- مجموع ردپای آب محصولات منتخب در استان‌های کشور (متر مکعب بر هکتار)
Table 1- Total water footprint of selected crops in Iran's provinces (m^3/ha)

استان Province	گندم Wheat: دیم Rainfed	گندم Wheat: آبی Irrigated	جو Barley: دیم Rainfed	جو Barley: آبی Irrigated	ذرت دانه‌ای Maize: آبی Irrigated
آذربایجان شرقی Azarbayejan Sharghi	1238.66	11021.13	1067.94	10124.17	15798.3
آذربایجان غربی Azarbayejan Gharbi	1186.75	10953	1154.6	9963	15060
اردبیل Ardabil	1020.9	10907.5	922.7	9885	16100
اصفهان Esfahan	866.36	12436.47	835.61	11605.29	19630
ایلام Ilam	2753.2	12533.75	2737.15	11433.75	21184

بوشهر Boushehr	975.28	15362.26	880.41	12559.38	0
تهران Tehran	1099.25	11307.5	1204.45	10117.5	0
چهارمحال و بختیارئ Charmahal va Bakhtiari	1595.87	13140	1605.1	12453.33	0
خراسان* Khorasan	1044.58	15137.04	1013.24	13869.63	21714
خوزستان Khozestan	1262.7	13380.77	1399.55	12266.15	22092
زنجان Zanjan	1284.9	11555	1223.9	10680	0
سمنان Semnan	530.92	15828.33	300.83	12001.16	0
سیستان و بلوچستان Sistan va Balouchestan	0	15908.5	102.5	12249.2	22169.28
فارس Fars	2919.64	12226.36	2218.74	10871.53	20448.46
قزوین Ghazvin	1095.85	11952.5	1105.95	10375	19190
قم Qom	560.5	14885	0	13165	0
کردستان Kordestan	2008	11070	1955	10646	19295
کرمان Kerman	0	15199.99	812.95	12487.8	22193.3
کرمانشاه Kermanshah	2303.3	11191.25	2263.7	10508.75	18910
کهگیلویه و بویراحمد Kohgilouyeh va Boyerahmad	3852.55	10074.47	3804.8	9267	17013.2
گلستان Golestan	1913.45	8726	1707.45	7676	13010
گیلان Gilan	5962.25	0	5570.95	8360	9230
لرستان Lorestan	2354.63	12987.28	2081.95	11674	9579.20
مازندران Mazandaran	3013.92	8318.75	2963.65	9824	9910
مرکزی Markazi	1364.8	12648	1206.05	10799	20484.95
هرمزگان Hormozgan	0	16507.78	0	14821.07	22025
همدان Hamedan	1437.1	12803	1540.1	11252	17902
یزد Yazd	0	14964.97	0	13647.11	22360

* به دلیل عدم دسترسی به آمار و اطلاعات استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و شمالی از تجمیع اطلاعات سه استان تحت عنوان استان خراسان استفاده شده است.

Due to the lack of access to statistics and information in the provinces of Khorasan Razavi, Khorasan Jonoubi and Khorasan Shomali, gathered Information of the three provinces has been used as the province of Khorasan.

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۲- مصرف سرانه هر ایرانی به تفکیک محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای (کیلوگرم-سرانه)
Table 2- Iranian per capita consumption of wheat, barley and maize (Kilogram - per capita)

	گندم **Wheat**	جو **Barley**	ذرت دانه‌ای **Maize**
مصرف سرانه هر ایرانی Iranian per capita consumption	204.82	64.6	85.47

مأخذ: یافته‌های تحقیق
Source: Research findings

جدول ۳. شبکه تجارت آب مجازی گندم در استان‌های کشور
Table 3- Wheat virtual water trade in Iran provinces

استان **Province**	مصرف گندم در سطح استان (هزار تن) **Provincial wheat consumption (Thousand tons)**	تولید گندم در استان (هزار تن) **Provincial wheat production (Thousand tons)**	صادرات یا واردات* استان (هزار تن) **Export or import of province (Thousand tons)**	تجارت آب مجازی* (میلیون متر مکعب) **Virtual water trade (Million m^3)**
آذربایجان شرقی Azarbayejan Sharghi	800.78	863.17	62.39	133.21
آذربایجان غربی Azarbayejan Gharbi	668.78	738.53	69.74	252.63
اردبیل Ardabil	260.21	715.67	455.47	1458.59
اصفهان Esfahan	1048.85	280.07	-768.78	-2897.40
ایلام Ilam	118.83	308.80	189.97	705.96
بوشهر Boushehr	238.29	131.71	-106.58	-356.76
تهران Tehran	2717.48	219.28	-2498.20	-8962.93
چهارمحال و بختیارئ Charmahal va Bakhtiari	194.12	117.24	-76.88	-453.47
خراسان* Khorasan	1652.19	1195.41	-456.78	-2241.48
خوزستان Khozestan	964.81	1860.01	895.20	2923.40
زنجان Zanjan	216.59	405.65	189.06	771.32
سمنان Semnan	143.86	111.45	-32.41	-88.32
سیستان و بلوچستان Sistan va Balouchestan	568.38	160.00	-408.38	-1785.70
فارس Fars	993.64	1173.85	180.21	1151.02
قزوین Ghazvin	260.89	317.37	56.48	222.00
قم Qom	264.69	26.08	-238.60	-757.76

کردستان Kordestan	328.33	984.16	655.83	2846.60
کرمان Kerman	648.20	175.20	-473.00	-1805.52
کرمانشاه Kermanshah	399.90	968.03	568.14	2155.12
کهگیلویه و بویراحمد Kohgilouyeh va Boyerahmad	146.05	145.10	-0.95	-9.40
گلستان Golestan	382.77	1510.30	1127.52	2795.59
گیلان Gilan	518.34	21.57	-496.77	-1902. 29
لرستان Lorestan	360.62	563.54	202.92	946.06
مازندران Mazandaran	672.54	183.69	-488.85	-1343.43
مرکزی Markazi	292.79	430.14	137.35	560.32
هرمزگان Hormozgan	363.85	57.60	-306.25	-696.29
همدان Hamedan	356.03	679.27	323.25	1387.84
یزد Yazd	233.19	39.49	-193.70	-772.48

*اعداد منفی نشان‌دهنده وارادات محصول و آب مجازی و اعداد مثبت نشان‌دهنده صادرات محصول و آب مجازی می‌باشد.

* Negative numbers represent products and virtual water import and positive numbers represent product and virtual water export.

مأخذ: وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۵) و یافته‌های تحقیق

Source: Ministry of Agriculture Jihad (2016) and Research findings

شبکه تجارت آب مجازی محصول گندم

با استفاده از اطلاعات بدست آمده از جدول ۲ و روابط (۱۰) و (۱۱) مصرف گندم در سطح هر استان (ستون دوم) محاسبه و مازاد عرضه و/ یا تقاضای (صادرات و/ یا واردات) هر استان بدست آمده‌است. نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده (جدول۳)، استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان‌غربی، اردبیل، ایلام، خوزستان، زنجان، فارس، قزوین، کردستان، کرمانشاه، گلستان، لرستان، مرکزی و همدان دارای مازاد عرضه گندم (صادرکننده) و استان‌های اصفهان، بوشهر، تهران، چهارمحال و بختیاری، خراسان، سمنان، سیستان و بلوچستان، قم، کرمان، کهگیلویه و بویراحمد، گیلان، مازندران، هرمزگان و یزد دارای مازاد تقاضای گندم (واردکننده) می‌باشند.

در میان استان‌های کشور، استان تهران بیشترین میزان مصرف گندم را دارد که با توجه به اینکه جمعیت این استان در حدود ۱۳ میلیون نفر (۱۸) می‌باشد، قابل توجیه است. مطالعه کیانی (۱۳۹۷) با استفاده از آمار سال ۱۳۸۵ نشان داده است، استان تهران بزرگترین واردکننده محصولات کشاورزی و همچنین آب مجازی در سطح کشور بوده و بر اساس نتایج این مطالعه، با گذر ۱۰ سال، این استان همچنان واردکننده باقی مانده است. کمترین میزان مصرف گندم مربوط به استان ایلام با جمعیتی در حدود ۵۸۰ هزار نفر (۱۸) در حدود ۱۱۸ هزار تن است و با توجه به اینکه این استان در سال ۱۳۹۵ در حدود ۳۰۸ هزار تن تولید گندم داشته، دارای مازاد تولید بوده و این موضوع استان ایلام را به صادرکننده گندم تبدیل نموده است. استان خوزستان با تولیدی در حدود ۱/۸ میلیون تن بزرگترین تولیدکننده گندم کشور در سال ۱۳۹۵ بوده و با جمعیتی در حدود ۴/۷ میلیون نفر، پنجمین استان مصرف کننده گندم به میزان ۹۶۵ هزار تن می‌باشد. گیلان و قم به ترتیب به میزان ۲۱ و ۲۶ هزار تن کوچک‌ترین تولید کننده‌های گندم در سطح کشور بوده‌اند.

در میان استان‌هایی که مازاد عرضه گندم داشته‌اند، استان گلستان، بیشترین صادرات گندم به میزان ۱/۱ میلیون تن را داراست که صادرات این محصول، صادرات ۲۸۴۶/۶ میلیون متر مکعب آب را به همراه داشته است. پس از استان گلستان، استان‌های خوزستان و کردستان در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. استان خوزستان بیشترین صادرات آب مجازی را به میزان ۲۹۲۳/۴ میلیون متر مکعب از طریق صادرات گندم داشته است.

جدول ٤- شبکه انتقال گندم از استان‌های صادر کننده به استان‌های واردکننده در کشور (هزار تن)

Table 4- Wheat Transfer Network from Exporting Provinces to Importing Provinces in the Country (Thousand Tons)

استان صادرکننده Exporting province	استان وارد کننده Importing province													
	اصفهان Esfahan	بوشهر Boushehr	تهران Tehran	چهارمحال بختیاری Chaharmahal va Bakhtiari	خراسان Khorasan	سمنان Semnan	سیستان و بلوچستان Sistan Va Balouchestan	قم Qom	کرمان Kerman	کهگیلویه و بویر احمد Kohgilouye va Boyerahmad	گیلان Gilan	مازندران Mazandaran	هرمزگان Hormozgan	یزد Yazd
آذربایجان شرقی Azarbayejan sharghi			166.41											
آذربایجان غربی Azarbayejan gharbi			173.76											
اردبیل Ardabil			67.38								492.1			
ایلام Ilam	188.67		105.33											
خوزستان Khozestan	583.45	23.88		0.022									263.47	128.42
زنجان Zanjan			293.08											
فارس Fars									284.23					
قزوین Ghazvin			169.50											
کردستان Kordestan			759.86											
کرمانشاه Kermanshah			672.16											
گلستان Golestan					444.11	0.015	304.84					482.60		
لرستان Lorestan	46.39						81.92		179.35					
مرکزی Markazi			59.07					182.30						
همدان Hamedan			427.27											

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به جدول (۱)، ردپای آب در تولید گندم برای استان‌های خوزستان، کردستان و گلستان به ترتیب معادل با ۱۱۳۸۱، ۱۲۰۷۰ و ۸۷۲۶ مترمکعب بر هکتار به دست آمده است. بنابراین پایین‌تر بودن ردپای آب تولید گندم در استان گلستان منجر به کاهش صادرات آب مجازی نسبت به دو استان دیگر شده است. استان تهران بزرگترین وارد کننده محصول گندم و همچنین آب مجازی به ترتیب به میزان ۲/۵ میلیون تن و ۸۹۶۲/۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. استان اصفهان در رتبه دوم واردات محصول گندم و همچنین آب مجازی پس از تهران قرار دارد. استان کهگیلویه و بویراحمد با توجه به اینکه ردپای آب در تولید محصول گندم آبی معادل با ۱۰۰۷۴ مترمکعب بر هکتار (جدول ۱) را داشته است، کمترین میزان واردات آب مجازی را نیز به خود اختصاص داده‌است. استان‌های گیلان، مازندران، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد که استان‌هایی پرباران هستند در رابطه با محصول گندم (جدول ۳)، واردکننده آب مجازی می‌باشند در حالیکه بر اساس نظریه هکشور–اوهلین (۱۲ و ۱۳) انتظار می رود استان‌های پرآب، صادرکننده آب مجازی باشند.

با توجه به وضعیت استان‌های صادرکننده می‌توان بیان کرد که عمده استان‌هایی که دارای مازاد عرضه گندم بوده و همچنین صادرکننده آب مجازی از طریق صادرات گندم هستند در غرب و شمال غرب کشور واقع شده‌اند. ۳۵ درصد از غلات کشور در چهار استان خوزستان، گلستان، فارس و کرمانشاه تولید شده است. سهم هشت درصدی استان فارس در تولید گندم و سهم ۵/۴ درصدی این استان در اراضی زیرکشت این محصول در سال ۱۳۹۵، منجر به صادرات گندم به میزان ۱۸۰ هزار تن توسط این استان شده است (۲۸). استان گلستان سهمی در حدود ۱۰ درصد از تولید گندم کل کشور را به خود اختصاص داده است.

به منظور حداقل‌سازی هزینه حمل و نقل گندم از استان‌های مبدا به مقاصد صادراتی، از مدل حمل و نقل و نرم افزار GAMS، استفاده شده است. نتایج به دست آمده در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، استان تهران که با توجه به جدول ۳ بزرگترین واردکننده گندم می‌باشد، مقصد صادراتی استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، ایلام، زنجان، قزوین، کردستان، کرمانشاه، مرکزی و همدان می‌باشد. استان‌های اردبیل، ایلام و مرکزی جهت حداقل‌سازی هزینه حمل و نقل، علاوه بر استان تهران، باید به ترتیب به استان‌های گیلان، اصفهان و قم به میزان ۴۹۲، ۱۸۸ و ۱۸۲ هزار تن گندم صادر نمایند.

استان خوزستان صادر کننده گندم به استان‌های اصفهان، بوشهر، چهارمحال و بختیاری، هرمزگان و یزد می‌باشد. صادرات گندم استان فارس به استان کرمان نیز ۲۸۴ هزارتن به دست آمده است؛ این در حالی است که استان لرستان نیز ۱۷۹ هزار تن گندم طبق مدل حمل و نقل باید به استان کرمان صادر کند. استان گلستان با توجه به جدول (۳) که بیشترین میزان صادرات گندم را در بین استان‌های کشور داشته است، به استان‌های خراسان، سمنان، سیستان و بلوچستان، و مازندران به ترتیب به میزان ۴۴۴، ۰/۰۱۵، ۳۰۴ و ۴۸۲ هزار تن گندم صادر نموده است. استان سیستان و بلوچستان نیز وارد کننده گندم (۸۱ هزار تن) از استان لرستان بوده است.

شبکه تجارت آب مجازی محصول جو

با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از جدول ۲ و روابط (۱۰) و (۱۱) مصرف جو نیز همانند محصول گندم در سطح هر استان (ستون دوم) محاسبه و مازاد عرضه و/ یا تقاضای (صادرات و/ یا واردات) هر استان بدست آمده‌است. نتایج به‌دست آمده در جدول ۵ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج بدست‌آمده (جدول ۵)، استان‌های اردبیل، ایلام، خراسان، سمنان، قزوین، کرمانشاه، گلستان، لرستان، مرکزی و همدان دارای مازاد عرضه محصول جو در کشور هستند در حالی‌که استان-های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اصفهان، بوشهر، تهران، چهارمحال بختیاری، خوزستان، زنجان، سیستان و بلوچستان، فارس، قم، کردستان، کرمان، کهگیلویه و بویر احمد، گیلان، مازندران، هرمزگان و یزد دارای مازاد تقاضای محصول جو در کشور می‌باشند.

همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، استان سمنان کمترین میزان مصرف جو را در بین استان‌های کشور داشته است و با توجه به میزان تولید جو و میزان بارش سالانه ۱۴۵ میلی‌متر (۱۷)، استان سمنان صادر کننده محصول جو محسوب می‌شود. استان تهران بزرگترین مصرف‌کننده و همچنین بزرگترین واردکننده جو است و از طریق واردات این محصول، به میزان ۲۳۹۸ میلیون مترمکعب آب مجازی وارد می‌کند. استان کهگیلویه و بویر احمد کمترین میزان واردات محصول جو در کشور را داشته است.

استان‌های کرمانشاه و همدان بزرگترین صادرکننده‌های جو می باشند که به ترتیب در حدود ۶۹۰ و ۶۶۶ میلیون متر مکعب آب مجازی از طریق صادرات جو، به سایر استان‌ها و خارج از کشور صادر می‌کنند. بارندگی این دو استان سالانه به‌ترتیب در حدود ۴۷۵ و ۳۳۴ میلی‌متر (۱۷) و ردپای آب تولید جو در هر دو استان به‌ترتیب ۱۰۵۰۹ و ۱۱۲۵۲ مترمکعب بر هکتار است، با توجه به جدول ۱ ردپای آب تولید جو آبی در استان کرمانشاه کمتر از بسیاری از استان‌های کشور است و دارای مزیت نسبی در تولید این محصول می‌باشد. استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، چهارمحال بختیاری، کردستان، کهگیلویه و بویر احمد، گیلان و مازندران جز استان‌های پرآب کشور می‌باشند. با توجه به اینکه جو اگر در شرایط دیم کاشته شود به ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی نیاز دارد (۲۵)، استان‌های پرآب برای کشت این

محصول مناسب می‌باشند.

موقعیت جغرافیایی استان‌های صادرکننده و واردکننده جـو نشـان می‌دهد. پراکنش استان‌های صادرکننده جو در کشور از نظـم خاصـی پیروی نمی‌کند، تعدادی از استان‌ها در شرق و شـمال‌شـرقی کشـور و تعدادی در غرب کشور واقع شده‌اند.

جدول ۵- شبکه تجارت آب مجازی جو در استان‌های کشور

Table 5- Barley virtual water trade in Iran provinces

استان Province	مصرف جو در سطح استان (هزار تن) Provincial barley consumption (Thousand tons)	تولید جو در استان (هزار تن) Provincial barley production (Thousand tons)	صادرات یا واردات* استان (هزار تن) Export or import of province (Thousand tons)	تجارت آب مجازی* (میلیون متر مکعب) Virtual water trade (Million m^3)
آذربایجان شرقی Azarbayejan Sharghi	252.65	138.29	-114.36	-521.90
آذربایجان غربی Azarbayejan Gharbi	211.00	105.25	-105.75	-432.69
اردبیل Ardabil	82.10	190.03	107.93	451.49
اصفهان Esfahan	330.92	189.40	-141.52	-467.75
ایلام Ilam	37.49	56.27	18.77	113.33
بوشهر Boushehr	75.18	9.19	-65.99	-275.81
تهران Tehran	857.38	147.81	-709.57	-2398.43
چهارمحال و بختیاری Charmahal va Bakhtiari	61.25	43.30	-17.95	-105.86
خراسان* Khorasan	521.27	599.17	77.89	489.73
خوزستان Khozestan	304.40	141.15	-163.25	-741.38
زنجان Zanjan	68.33	55.25	-13.08	-51.66
سمنان Semnan	45.39	58.69	13.30	42.39
سیستان و بلوچستان Sistan va Balouchestan	179.33	25.67	-153.66	-778.32
فارس Fars	313.50	240.59	-72.91	-478. 26
قزوین Ghazvin	82.31	125.05	42.74	180.66
قم Qom	83. 51	76.85	-6.66	-17.43
کردستان Kordestan	103.59	38.52	-65.07	-407.02
کرمان Kerman	204.51	65.60	-138.91	-609.91

کرمانشاه Kermanshah	126.17	369.78	243.61	690.20
کهگیلویه و بویراحمد Kohgilouyeh va Boyerahmad	46.08	44.95	-1.13	-10.60
گلستان Golestan	120.77	264.48	143.71	439.99
گیلان Gilan	163.54	8.29	-155.25	-1099.53
لرستان Lorestan	113.78	184.93	71.16	415.83
مازندران Mazandaran	212.19	62.69	-149.50	-625.94
مرکزی Markazi	92.37	167.43	75.05	333.71
هرمزگان Hormozgan	114.79	3.64	-111.15	-435.73
همدان Hamedan	112.33	258.29	145.97	666.89
یزد Yazd	73.57	8.31	-65.27	-274.03

* اعداد منفی نشان‌دهنده وارادات محصول و آب مجازی و اعداد مثبت نشان‌دهنده صادرات محصول و آب مجازی می‌باشد.

* Negative numbers represent products and virtual water import and positive numbers represent product and virtual water export.

مأخذ: وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۵) و یافته‌های تحقیق

Source: Ministry of Agriculture Jihad (2016) and Research findings

شبکه انتقال جو بین استان‌های کشور در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد، واردات جو به استان تهران از استان‌های سمنان، قزوین، کرمانشاه، گلستان، لرستان، مرکزی و همدان با میانگین فاصله ۳۲۴ کیلومتری بر اساس مدل حمل و نقل صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه تهران بزرگترین واردکننده جو در سطح کشور است، قابل توجیه است که تمام استان‌هایی که در فاصله نزدیک به این استان قرار دارند، مبادی صادراتی این استان با توجه به مدل حمل و نقل می‌باشند. استان کرمانشاه که بزرگترین صادرکننده جو در کشور است، جو را به استان‌های آذربایجان غربی، تهران، زنجان و کردستان باید صادر کند. استان کرمانشاه می‌تواند بیشترین صادرات جو به استان تهران به میزان ۲۵۳ هزار تن را در میان سایر استان‌ها داشته‌باشد. استان همدان که پس از استان کرمانشاه قرار دارد، تنها به میزان ۲۱۷ هزار تن جو به استان تهران می‌تواند بر اساس ندل حمل و نقل صادر کند. استان اصفهان که در گروه وارد کننده‌های جو قرار داشته است، به میزان ۹۸ هزار تن جو از استان مرکزی باید وارد کند.

استان اردبیل به‌ترتیب در فاصله ۲۱۴ و ۲۵۷ کیلومتری استان های آذربایجان شرقی و گیلان قرار گرفته است و با توجه به فاصله کم بین استان‌های مقصد و مبدا، استان اردبیل باید صادرکننده جو به این دو استان باشد. استان خراسان با میانگین فاصله ۹۲۴ کیلومتری از دو استان سیستان و بلوچستان و کرمان، تا حدودی مازاد تقاضای این دو استان را به ترتیب به میزان ۱۱۲/۹۶ و ۳۶/۳۷ هزار تن تامین می‌کند. استان کرمان مازاد تقاضای خود را باید از استان گلستان علاوه بر استان سیستان و بلوچستان به میزان ۵۸/۸۸ هزار تن تامین نماید. استان لرستان باید به استان‌های فارس، تهران، خوزستان، هرمزگان و یزد، جو صادر کند. همچنین نتایج جدول (۶) نشان می دهد، با توجه به اینکه استان لرستان در فاصله ۱۳۴۶ کیلومتری از استان هرمزگان قرار دارد اما با صادراتی در حدود ۶۱ هزار تن، هزینه حمل و نقل را حداقل خواهد کرد.

شبکه تجارت آب مجازی محصول ذرت‌دانه‌ای

مازاد عرضه و یا مازاد تقاضای هر استان از محصول ذرت دانه‌ای با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه و نتایج بدست آمده در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ٦- شبکه انتقال جو از استان‌های صادر کننده به استان‌های واردکننده در کشور (هزار تن)

Table 6- Barley Transfer Network from Exporting Provinces to Importing Provinces in the Country (Thousand Tons)

استان صادرکننده Exporting province	استان وارد کننده Importing province آذربایجان شرقی Azarbayejan Sharghi	آذربایجان غربی Azarbayejan Gharbi	اصفهان Esfahan	بوشهر Boushehr	تهران Tehran	چهارمحال بختیاری Chaharmahal va Bakhtiari	خوزستان Khozestan	زنجان Zanjan	سیستان و بلوچستان Sistan Va Balouchestan	فارس Fars	قم Qom	کردستان Kordestan	کرمان Kerman	کهگیلویه و بویر احمد Kohgilouye va Boyerahmad	گیلان Gilan	مازندران Mazandaran	هرمزگان Hormozgan	یزد Yazd
اردبیل Ardabil	65.79														133.57			
ایلام Ilam				7.76			82.45											
خراسان Khorasan									112.96				36.37					
سمنان Semnan					84.74													
قزوین Ghazvin					112.89										1.29			
کرمانشاه Kermanshah		55.46			252.93			0.009				6.65						
گلستان Golestan					48.29								58.88			107.97		
لرستان Lorestan					15.69		42.02			16.06							61.95	6.88
مرکزی Markazi			98.38		48.10	0.0013					0.0015							
همدان Hamedan					217.4													

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۷- شبکه تجارت آب مجازی ذرت دانه‌ای در استان‌های کشور
Table 7- Maize virtual water trade in Iran provinces

استان Province	مصرف ذرت دانه‌ای در سطح استان (هزار تن) Provincial barley consumption (Thousand tons)	تولید ذرت دانه‌ای در استان (هزار تن) Provincial barley production (Thousand tons)	صادرات یا واردات* استان (هزار تن) Export or import of province (Thousand tons)	تجارت آب مجازی* (میلیون متر مکعب) Virtual water trade (Million m^3)
آذربایجان شرقی Azarbayejan Sharghi	334.14	2.92	-331.23	-972.22
آذربایجان غربی Azarbayejan Gharbi	279.07	40.23	-238.84	-464.60
اردبیل Ardabil	108.58	57.73	-50.84	-139.31
اصفهان Esfahan	437.66	8.46	-429.20	-953.71
ایلام Ilam	49.58	55.60	6.02	20.97
بوشهر Boushehr	99.43	0.00	-99.43	0.00
تهران Tehran	1133.94	0.00	-1133.94	0.00
چهارمحال و بختیارئ Charmahal va Bakhtiari	81.00	0.00	-81.00	0.00
خراسان* Khorasan	689.42	0.57	-688.84	-2756.01
خوزستان Khozestan	402.59	351.24	-51.35	-139.49
زنجان Zanjan	90.38	0.00	-90.38	0.00
سمنان Semnan	60.03	0.00	-60.03	0.00
سیستان و بلوچستان Sistan va Balouchestan	237.17	27.14	-210.03	-913.35
فارس Fars	414.62	122.77	-291.86	-710.14
قزوین Ghazvin	108.86	65.77	-43.09	-82.38
قم Qom	110.45	0.00	-110.45	0.00
کردستان Kordestan	137.00	7.20	-129.80	-484.13
کرمان Kerman	270.48	96.07	-174.41	-504.78
کرمانشاه Kermanshah	166.87	152.58	-14.29	-28.96
کهگیلویه و بویراحمد Kohgilouyeh va Boyerahmad	60.94	18.93	-42.02	-147.23
گلستان Golestan	159.72	1.79	-157.94	-408.66

گیلان Gilan	216.29	0.25	-216.04	-157.44
لرستان Lorestan	150.48	7.35	-143.12	-125.71
مازندران Mazandaran	280.64	2.60	-278.03	-144.46
مرکزی Markazi	122.17	1.05	-121.12	-132.87
هرمزگان Hormozgan	151.82	23.97	-127.85	-432.03
همدان Hamedan	148.56	17.66	-130.90	-297.96
یزد Yazd	97.31	15.79	-81.52	-191.26

* اعداد منفی نشان‌دهنده واردات محصول و آب مجازی و اعداد مثبت نشان‌دهنده صادرات محصول و آب مجازی می‌باشد.

* Negative numbers represent products and virtual water import and positive numbers represent product and virtual water export.

مأخذ: وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۵) و یافته‌های تحقیق

Source: Ministry of Agriculture Jihad (2016) and Research findings

در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، ۸/۴۴ میلیون هکتار از سطح زیرکشت کشور به غلات اختصاص یافته که ذرت‌دانه‌ای ۱/۸۸ درصد از کل سطح زیرکشت غلات و همچنین ۵/۲۲ درصد از کل میزان تولید غلات را به خود اختصاص داده است (۲۸). درمیان غلات تولید شده در کشور، ذرت دانه‌ای از کمترین سهم نسبت به سایر محصولات برخوردار است. با توجه به اینکه ذرت‌دانه‌ای نمی‌تواند آب و هوای بسیار گرم را تحمل کند و مناسب‌ترین محیط برای کشت آن، ناحیه ای با دمای هوای ۲۱ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد است و همچنین این گیاه به آب زیادی نیاز دارد، می‌توان بیان نمود، که بسیاری از استان های کشور نمی‌توانند این محصول را تولید و برخی از استان‌ها نیز به مقدار اندکی از این محصول را تولید می‌نمایند.

بر اساس نتایج جدول ۷، استان تهران بزرگترین مصرف‌کننده و همچنین واردکننده ذرت‌دانه‌ای در کشور است و به دلیل اینکه تولید کننده این محصول نمی‌باشد، امکان محاسبه ردپای آب وجود نداشته است. از سوی دیگر استان ایلام کوچکترین مصرف‌کننده ذرت‌دانه‌ای و تنها صادر کننده این محصول می‌باشد. این استان به میزان ۲۱ میلیون مترمکعب آب مجازی به همراه این محصول صادر می‌کند. استان‌های خوزستان، کرمانشاه و فارس بزرگترین تولیدکننده‌های ذرت‌دانه‌ای در ایران هستند که به ترتیب این محصول را به میزان ۳۵۱، ۱۵۲، ۱۲۳ هزار تن در سال ۱۳۹۵ تولید کرده‌اند. با توجه به اینکه میزان مصرف هر سه استان از تولید آنها بیشتر بوده است، به ترتیب به میزان ۱۳۹، ۷۱۰ و ۲۹ میلیون مترمکعب آب مجازی با واردات این محصول به استان‌های مذکور وارد شده است. کمترین میزان تولید ذرت دانه‌ای مربوط به استان گیلان در حدود ۲۴۹ هزار تن می‌باشد. به دلیل اینکه در بسیاری از استان‌ها ذرت‌دانه‌ای تولید نشده و میزان تقاضای آنها ممکن است که از طریق واردات این محصول که در سال ۱۳۹۵ معادل با ۵/۶ میلیون تن (۱۲) بوده است، تامین شود، جهت محاسبه‌ی واردات آب مجازی این استان‌ها باید کشور واردکننده شناسایی و مجموع ردپای آب مجازی برای هر کشور به تفکیک محاسبه شود.

با توجه به جدول ۸، استان ایلام به استان‌های تهران و خراسان به‌ترتیب به میزان ۶۳۴ و ۹۹ هزارتن ذرت‌دانه‌ای صادر کند، هزینه حمل و نقل ذرت دانه‌ای حداقل می‌شود. مازاد تقاضای سایر استان های کشور نیز از واردات از سایر کشورها تامین شده‌است.

نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر، به بررسی شبکه تجارت آب مجازی غلات در سطح استان‌های کشور پرداخته شده و مبادی صادراتی و وارداتی این محصولات شناسایی شده‌اند. سپس میزان صادرات گندم، جو و ذرت دانه‌ای به استان‌های واردکننده با استفاده از مدل حمل و نقل تعیین شده‌است. نتایج محاسبه ردپای آب غلات در کشور نشان می‌دهد که مجموع ردپای آب در استان‌های مختلف بسیار متفاوت است، که این موضوع ناشی از شرایط آب و هوایی نظیر درجه حرارت، بارندگی و غیره است. طبق نظریه هکشور–اوهلین انتظار می‌رود، استان‌های کم‌آب واردکننده غلات و استان‌های پرآب صادرکننده آن‌ها باشند اما در نتایج مطالعه‌ی حاضر عدم تطابق با این نظریه مشاهده شده‌است.

جدول ۸- شبکه انتقال ذرت‌دانه‌ای از استان‌های صادر کننده به استان‌های واردکننده در کشور (هزار تن)

Table 8- Maize Transfer Network from Exporting Provinces to Importing Provinces in the Country (Thousand Tons).

استان صادرکننده Exporting province	استان وارد کننده Importing province																	
	آذربایجان شرقی Azarbayejan Sharghi	آذربایجان غربی Azarbayejan Gharbi	اصفهان Esfahan	بوشهر Boushehr	تهران Tehran	چهارمحال بختیاری Chaharmahal va Bakhtiari	خوزستان Khozestan	زنجان Zanjan	سیستان و بلوچستان Sistan Va Balouchestan	فارس Fars	قم Qom	کردستان Kordestan	کرمان Kerman	کهگیلویه و بویر احمد Kohgilouye va Boyerahmad	گیلان Gilan	مازندران Mazandaran	هرمزگان Hormozgan	یزد Yazd
ایلام Ilam					633.62													

در شبکه تجارت آب غلات، استان تهران بزرگترین واردکننده غلات کشور بوده و بیشترین میزان آب مجازی از سایر استان‌ها و سایر کشورها را وارد می‌کند. در میان استان‌های صادرکننده گندم، استان گلستان به میزان ۲۸۴۶/۶ میلیون متر مکعب آب مجازی به استان‌های خراسان، سمنان، سیستان و بلوچستان و مازندران و سایر کشورها صادر می‌کند. استان‌های گیلان، مازندران، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد استان‌های پرآبی هستند که واردکننده آب مجازی نیز می‌باشند. در میان استان‌های صادرکننده جو، استان کرمانشاه بزرگترین صادرکننده جو در کشور است و محصول جو را به استان‌های آذربایجان غربی، تهران، زنجان و کردستان صادر می‌نماید. استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، چهارمحال بختیاری، کردستان، کهگیلویه و بویر احمد، گیلان و مازندران جز استان‌های پرآب در کشور که واردکننده آب مجازی بوده‌اند. در سال ۱۳۹۵ به میزان ۵/۶ میلیون تن ذرت دانه‌ای وارد کشور شده است که توجیهی بر نامناسب بودن شرایط اقلیمی برخی استان‌های کشور برای تولید این محصول است. استان ایلام تنها استان صادرکننده ذرت‌دانه‌ای بوده و سایر استان‌ها واردکننده این محصول می‌باشند.

ادامه جدول ۸- شبکه انتقال ذرت‌دانه‌ای از استان‌های صادر کننده به استان‌های واردکننده در کشور (هزار تن)

Table 8- Maize transfer network from exporting provinces to importing provinces in the country (Thousand tons)

	استان وارد کننده Importing province								
استان صادرکننده Exporting province	اردبیل Ardabil	خراسان Khorasan	سمنان Semnan	قزوین Ghazvin	کرمانشاه Kermanshah	گلستان Golestan	لرستان Lorestan	مرکزی Markazi	همدان Hamedan
ایلام Ilam		99.50							

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

منابع

1- Ababaei B., and Ramezani Etedali H. 2014. Estimation of water footprint components of Iran’s wheat production: comparison of global and national scale estimates. Journal Environmental Process 1: 193-205.

2- Agricultural Engineering Research Institute. 2015. Improving water use productivity. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Writers: Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, G., Abbasi, N. And Akbari, M. (In Persian).

3- Aquastat. 2010. FAO Aquastat China Country Profile. Retrieved from http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries regions/Iran/index.stm.

4- Babazadeh H., and Sarai Tabrizi M. 2012. Evaluation of Hormozgan province agricultural situation from the point of view of virtual water. Journal of Water Resource in Agriculture 26(4):485–499. (In Persian)

5- Baghestan A.A., Mehrabi Boshrabadi H., Zare Mehrjerdi M.R., and Sherafatmand H. 2010. Application of the concept of virtual water in water resources management of Iran. Iran Water Resources Research 6(1): 28-38. (In Persian with English Abstract)

6- Chapagain A.K., Hoekstra A., and Savenije H. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. Hydrology and Earth System Sciences 10: 455–468.

7- Chapagain A.K., and Orr S. 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. Journal of Environmental Management 90: 1219-1228.

8- Chouchane H., Krol M.S., and Hoekstra A.Y. 2018. Virtual water trade patterns in relation to environmental and socioeconomic factors: A case study for Tunisia. Science of the Total Environment 613–614: 287–297.

9- Dalin C., Hanasaki N., Qiu H., Mauzerall D.L., and Rodriguez-Iturbe I. 2014. Water resources transfer through Chinese interprovincial and foreign food trade. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111(27): 9774–9779.

10- Ghezel Jahromi S., and Mohammadi H. 2008. Application of transportation programming model in sugar industries in Fars Province. Sugar beet Journal 24(2): 109-128. (In Persian with English Abstract)

11- Guan D., and Hubacek K. 2007. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. Ecological Economics 61(1): 159-170

12- Food and Agriculture Organization of United Nation (FAO). 2016. www.faosta.fao.org.

13- Hoekstra A.Y., and Chapagain A.K. 2007a. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resource Management 21: 35-48.

14- Hoekstra A.Y., and Chapagain A.K. 2007b. The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. Ecological Economics 6: 143-151.

15- Hoekstra A.Y., and Chapagain A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet’s freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

16- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., and Mekonnen M.M. 2009. Water footprint manual: State of the art 2009, Water Footprint Network, Enscheda, the Netherlands.

17- Iran Meteorological Organization. 2018. Statistics and information, maps and tables and climate classification. (In Persian)

18- Iran Statistical Centre. Statistical Data and Information. 2018. (In Persian)

19- Islam S.M., Oki T., Kanae S., Hanasaki N., Agata Y., and Yoshimura K. 2007. A grid-based assessment of global water scarcity including virtual water trading. Water Resource Management 21: 19-33.

20- Jafari A., and Zarei GH. 2007. Virtual Water Trade and Its Role in Addressing the Dehydration Crisis. Second Water Resources Management Conference. Isfahan, Isfahan University of Technology: Iran Water Resources Sciences and Engineering Society. (In Persian)

21- Kiani GH. 2001. Determination of the economic pattern of wheat transportation in Iran. Master's thesis, Agricultural

Economics Department, Tehran University. (In Persian)
22- Kiani GH. 2018. Study of domestic and international virtual water trade in Iran. Journal of water and soil Sciences 22(1):115-125. (In Persian with English Abstract)
23- Kumar M.D., and Singh O.P. 2005. Virtual water in global food and water policy making: Is there a need for rethinking? Water Resource Management 19: 759-789.
24- Liu J., and Savenije H.H.G. 2008. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China. UNESCO-IHE, Value of Water Research Report Series No. 30.
25- Ma J., Hoekstra A.Y., Wang H., Chapagain A.K., and Wang D. 2006. Virtual versus real water transfers within China. PHILOS. T. R. SOC B: 19, 361: 835-842.
26- Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Jihad Organization of Gilan Province, Deputy Director of Plant Production Improvement of Agricultural Management Guidelines for Agriculture and Rural Development Preparation and Settlement: Javad Yahyazadeh, Agriculture Expert September, 2013. (In Persian)
27- Ministry of Agriculture Jihad, Deputy Economic and Planning Department, Information and Communication Technology Center. 2017. Agricultural Statistics, Agricultural Crop Years 2015-2016, Vol.1: Crop Production. Ministry of Agriculture publications. (In Persian)
28- Ministry of Agriculture Jihad. 2017. http://www.maj.ir. (In Persian)
29- Namakin K., Moasheri B.N., and Khosravi S. 2012. Study of food consumption pattern in students of junior high schools in Birjand. New Care, Journal of Nursing and Midwifery Faculty, Birjand University of Medical Sciences, 9 (3): 272-264. (In Persian with English Abstract)
30- Omidi F., and Homaee M. 2015. Deriving crop production functions to estimate wheat virtual water and irrigation water price. Cereal Research 5(2): 131–143. (In Persian)
31- Verma Sh., Kampman D.A., Van der Zaag P., and Hoekstra A.Y. 2009. Going against the flow: A critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's National River Linking Program. Physics and Chemistry of the Earth 34(4-5): 261–269.
32- Wang X., Haung K., Yu Y., Hu T., and Xu Y. 2016. An input–output structural decomposition analysis of changes insectoral water footprint in China. Ecological Indicators 69: 26–34.
33- World Bank. 2014. Annual freshwater withdrawals, total (billion cubic meters). Data. Retrieved from http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.K3
34- Zhao J., Liu W., and Deng H. 2005. The potential role of virtual water in solving water scarcity and food security problems in China. International Journal of Sustainable Development World Ecology 12: 419-428.

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 33, No. 1, Spring 2019, p. 55-74

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۷۴-۵۵

Virtual Water Transfer through Iranian Interprovincial Cereals Trade

N. Ashktorab[1]*- M. Zibaei[2]
Received: 03-11-2018
Accepted: 19-12-2018

Introduction: freshwater resources which are essential for human life, sustainable livelihood, food security and conservation of ecosystem appear to be under increasing pressure from population growth, socio-economic development and climate changes. The largest consumer of water is agricultural sector. Hence improving productivity in agricultural sector and reducing agricultural water use hold the key to tacking water scarcity. But over the past decades, it has been argued that international trade of agricultural crops from wet-countries to arid and semi-arid countries is one possible path to mitigate water shortage. The trade of commodities, which water has been used in their production, is generally referred to as virtual water trade. Often the terms "virtual water" and "water footprint" are usually used synonymously, while there are significant differences. The water footprint concept, however, has a wider application. In fact, the water footprint of a product is an empirical indicator of how much water is consumed, when and where, measured over the whole supply chain of the product. In other words, the water footprint is a multidimensional indicator, showing volumes but also making explicit the type of water use and the location and timing of water use. For products containing virtual water, trade is a means of transferring water resources between regions and also this virtual water trade network among provinces has a large share of domestic trade. in current study, in order to determine the inter-provincial virtual water trade network of the country, water footprint of wheat, barley and maize and also the amount of excess supply and excess demand of selected products has been calculated using data over 1395 in each province. Therefore virtual water trade network of each product has been obtained in different provinces of the country. Then, using the transportation model, exporting provinces has been specified and the amount of exports of different products for minimizing shipping costs has been identified

Materials and Methods: In order to determine the excess supply and excess demand of the selected products in each province, firstly water footprint of each product was calculated for each province, then virtual water trade network of each product was identified and by using the transportation model, export route was determined.

The green, blue, gray and white water footprints of studied crops were estimated following the calculation frameworks of Hoekstra and Chapagain (2008) and Hoekstra et al. (2009), and modifications proposed by Ababaei and Ramezani Etedali (2014). By calculating water footprint components for different plains, their mean values were obtained for each province and then the obtained water footprint components in both irrigated and dryland were aggregated together for each product.

In this part of the study, due to lack of access to information and statistics of the amount of exports and imports between Iran's provinces, at first per capita consumption of each Iranian person was obtained for each product. Then, total consumption of each province was obtained from the province's population by per capita consumption of each product. In order to calculate the excess demand or excess supply of each province, the total production of each province was deducted from the total consumption of each province. Finally, virtual water trade of each product in each province was acquired from water footprint in excess supply or demand.

Finally, the purpose of current study is to provide a minimum cost model for a virtual trade network from production centers to consumer centers. In the transportation model used here, the objective function is to minimize the total transportation costs between all selected agricultural production centers and consumption centers. The constraint (1) indicates that the amount of exchangeable product in each province is more than or equal to the product demanded by the province. Constraint (2) ensures that the product delivered between two centers is less than or equal to the capacity of the center. In constraint (3), the total demand for products is considered to be equal to the total amount of exchanged product. Constraint (4) provides for the positive value of exchanged items between supply and demand centers.

Results and Discussion: Based on the results of this study, the provinces of Azarbaijan sharghi, Azarbaijan gharbi, Ardebil, Ilam, Khuzestan, Zanjan, Fars, Qazvin, Kurdistan, Kermanshah, Golestan, Lorestan, Markazi and Hamedan are the wheat suppliers and so are the exporter. The provinces of Isfahan, Bushehr, Tehran, Chaharmahal and Bakhtiari, Khorasan, Semnan, Sistan and Baluchestan, Qom, Kerman, Kohgiluyeh and Boyer

1 and 2- Ph.D Student and Professor of Agricultural Economics, Agricultural Economics Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
(*- Corresponding Author Email: nilo.ashktorab@gmail.com)

Ahmad, Gilan, Mazandaran, Hormozgan and Yazd have exceeded demand for wheat thus they are importer. Among all provinces of the country, Tehran has the highest wheat consumption, due to the fact that the population of this province is about 13 million (Iran's capital of history, 1395). Kayani (2018) has shown that Tehran province is the largest importer of agricultural products and virtual water in the country. According to the results of the study, after ten years, mentioned province remains the importer. Among the provinces where surplus wheat has been supplied, Golestan province has the largest wheat exports up to 1.1 million tons, and by exporting this product about 2846.6 million cubic meters of water has been exported. Based on the results, Tehran province is the destination of export of Azarbaijan sharghi, Azarbaijan gharbi, Ardebil, Ilam, Zanjan, Qazvin, Kurdistan, Kermanshah, Markazi and Hamedan provinces. In addition to the province of Tehran, Ardebil, Ilam and Markazi provinces have to export 492, 188 and 182 thousand tons of wheat to the provinces of Gilan, Isfahan and Qom, in order to minimize transportation costs.

Following the results, Ardebil, Ilam, Khorasan, Semnan, Qazvin, Kermanshah, Golestan, Lorestan, Markazi and Hamedan provinces have excess supply of barley in the country, while the provinces of Azarbaijan sharghi, Azarbaijan gharbi, Isfahan, Bushehr, Tehran, Chaharmahal va Bakhtiari, Khuzestan, Zanjan, Sistan va Baluchestan, Fars, Qom, Kurdistan, Kerman, Kohgiluyeh va Boyer Ahmad, Gilan, Mazandaran, Hormozgan and Yazd have excess demand for barley in the country. Kermanshah and Hamedan provinces are the largest exporters of barley, which export about 690 and 666 million cubic meters of virtual water through exports of barley to other provinces and foreign countries. The rainfall of these two provinces is about 475 and 334 millimeters and footprint of water production in both provinces is 2833 and 4568 m 3 / ton. Barley import of Tehran province has taken place from Semnan, Qazvin, and Kermanshah, Golestan, Lorestan, Markazi and Hamedan provinces with a mean distance of 324 kilometers. Considering that Tehran is the largest importer of barley in the country, it is justifiable that all provinces that are located near that province are the export bases..

The province of Tehran is the largest consumer and importer of maize in the country and since Tehran is not maize producer, it is not possible to calculate the water footprint. On the other hand, the province of Ilam is the smallest consumer of maize and is the sole exporter of this product which exports 21 million cubic meters of virtual water along with this product. The provinces of Khuzestan, Kermanshah and Fars are the largest maize producers in Iran, which respectively produce 351, 152, 123 thousand tons in 2016. The province of Ilam export to the provinces of Tehran and Khorasan, respectively, 634 and 99 thousand tons of maize, the cost of maize supplies is minimized. Excess demand from other provinces of the country has also been provided from imports of other countries.

Conclusion: Comparison of the results of this study, based on the statistics of 2016, and the Kayani study (2018), which was carried out in 2006, showed no significant changes in water resources management. Modifying the agricultural cropping pattern and correcting the pattern of consumption in line with the water footprint of agricultural products can be useful in improving the situation of the country's water resources in the long run. Determining the pattern of agricultural trade based on water footprint production of these products and the volume of virtual exports and imports of each product in each province could have a significant effect on reducing water losses in provinces of Iran.

Keywords: Barley, Maize, Province, Transportation model, Virtual water tade network, Water footprint, Wheat